

Stellungnahme zu den stadtklimatologischen Auswirkungen der geplanten Entflechtungsstraße in Köln-Rondorf

Bericht VH 7474-2 vom 06.03.2023

Auftraggeber: Amelis Projektentwicklungs GmbH
Oskar-Jäger-Straße 173
50825 Köln

Bericht-Nr.: VH 7474-2

Datum: 06.03.2023

Ansprechpartner/in: Herr Siebers

Dieser Bericht besteht aus insgesamt 32 Seiten,
davon 24 Seiten Text und 8 Seiten Anlagen.

VMPA anerkannte
Schallschutzprüfstelle
nach DIN 4109

Leitung:

Dipl.-Phys. Axel Hübel

Dipl.-Ing. Heiko Kremer-Bertram
Staatlich anerkannter
Sachverständiger für
Schall- und Wärmeschutz

Dipl.-Ing. Mark Bless

Anschriften:

Peutz Consult GmbH

Kolberger Straße 19
40599 Düsseldorf
Tel. +49 211 999 582 60
Fax +49 211 999 582 70
dus@peutz.de

Borussiastraße 112
44149 Dortmund
Tel. +49 231 725 499 10
Fax +49 231 725 499 19
dortmund@peutz.de

Pestalozzistraße 3
10625 Berlin
Tel. +49 30 92 100 87 00
Fax +49 30 92 100 87 29
berlin@peutz.de

Gostenhofer Hauptstraße 21
90443 Nürnberg
Tel. +49 911 477 576 60
Fax +49 911 477 576 70
nuernberg@peutz.de

Geschäftsführer:

Dr. ir. Martijn Vercammen
ir. Ferry Koopmans
AG Düsseldorf
HRB Nr. 22586
Ust-IdNr.: DE 119424700
Steuer-Nr.: 106/5721/1489

Bankverbindungen:

Stadt-Sparkasse Düsseldorf
Konto-Nr.: 220 241 94
BLZ 300 501 10
DE79300501100022024194
BIC: DUSSEDDXXX

Niederlassungen:

Mook / Nimwegen, NL
Zoetermeer / Den Haag, NL
Groningen, NL
Eindhoven, NL
Paris, F
Lyon, F
Leuven, B

peutz.de

Inhaltsverzeichnis

1	Situation und Aufgabenstellung.....	4
2	Bearbeitungsgrundlagen, zitierte Normen und Richtlinien.....	5
3	Örtliche Gegebenheiten.....	8
4	Grundlagen.....	9
4.1	Stadtklima.....	9
4.1.1	Lufttemperatur.....	9
4.1.2	Windfeld.....	10
4.1.3	Bioklimatischer Komfort.....	10
4.2	Auswirkungen des Klimawandels.....	11
4.2.1	Planungshinweiskarte Hitze der Stadt Köln.....	14
4.2.2	Windrichtungsverteilung im Umfeld des Plangebietes.....	15
4.2.3	Kaltluftströmungen im Umfeld des Plangebietes.....	15
5	Auswirkungen des Planvorhabens.....	17
5.1.1	Kaltluftproduktion.....	17
5.1.2	Kaltluftdurchfluss.....	17
5.2	Lufttemperaturen.....	18
5.3	Windfeld.....	18
5.4	Bioklima.....	19
6	Planungsempfehlungen.....	20
7	Zusammenfassung.....	22

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1: Einordnung der thermischen Situation und Planungshinweise [16].....	14
--	----

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4.1 Prognose der Entwicklung der sommerlichen Wärmebelastung in Köln-Ron- dorf [15].....	13
---	----

1 Situation und Aufgabenstellung

Der Auftraggeber plant in Abstimmung mit der Stadt Köln den Neubau einer Entflechtungsstraße, welche die Stadtteile Meschenich, Rondorf und Immendorf durchlaufen soll. Die Entflechtungsstraße soll den Ortskern von Rondorf verkehrlich entlasten und die Verkehrsanbindung des geplanten Wohnquartiers „Rondorf Nord-West“ sichern.

Gemäß der Planungshinweiskarte Hitze der Stadt Köln [3] handelt es sich bei der Projektfläche um eine derzeit landwirtschaftlich genutzte klimaaktive Freifläche. Klimaaktive Freiflächen sind windoffen, weisen eine starke Frisch- und Kaltluftproduktion auf und sind von hoher Sensibilität gegenüber Nutzungsänderungen, wie zum Beispiel Bebauung. Das Gebiet weist große Freiflächenanteile auf, die grundsätzlich im Sinne des Klimaschutzes von Bebauung freigehalten werden sollten.

Im Rahmen dieser Stellungnahme sollen die vorliegenden Grundlagendaten zum Thema Stadtklima ausgewertet und dargestellt werden. Aufbauend auf den Grundlagendaten werden anschließend die zu erwartenden klimatischen Effekte des Vorhabens beschrieben und Maßnahmen betrachtet, mit denen negative klimatische Folgen verhindert oder verringert werden können.

Eine Übersicht zur Bestandssituation ist in Anlage 1 dargestellt. Anlage 2 zeigt einen Überblick über die zukünftige Situation nach Realisierung der Entflechtungsstraße.

2 Bearbeitungsgrundlagen, zitierte Normen und Richtlinien

Titel / Beschreibung / Bemerkung		Kat.	Datum
[1]	Übersichtslageplan IPL Consult Potthof + Fürnkranz Ingenieurpartnerschaft	P	Stand: August 2022
[2]	Entwurfsplanung Erläuterungsbericht IPL Consult Potthof + Fürnkranz Ingenieurpartnerschaft	P/Lit.	Stand: November 2022
[3]	Planungshinweiskarte Hitze, Stadt Köln Stadt Köln: https://www.stadt-koeln.de/mediaasset/content/pdf57/planungshinweis_hitze_clm_endfassung.pdf	P	Stand: Februar 2021
[4]	Zeitreihe der Windrichtung- und geschwindigkeit der Station Köln-Rodenkirchen aus dem Zeitraum 2011-2020 Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz https://www.lanuv.nrw.de/umwelt/luft/immissionen/berichte-und-trends/einzelwerte-kontinuierlicher-messungen	P.	2021
[5]	Stadtklima vor dem Hintergrund des Klimawandels A. Matzarakis, in Umweltmeteorologie, Nr. 3, 2013	Lit.	2013
[6]	Stadtklima S. Henninger & S. Weber, 2019	Lit	2019
[7]	Meteorologie H. Häckel, 4. Auflage, 2019	Lit	1999
[8]	Klimatologie W. Kuttler, 2. Auflage, 2013	Lit	2013
[9]	Untersuchung über kleinräumige Änderungen des Kaltluftflusses und der Frostgefährdung durch Straßenbauten. King. .E. in Berichte des Deutschen Wetterdienstes 130, Bd. 17	Lit.	1973
[10]	Urban-orographische Bodenwind-systeme in der städtischen Peripherie Kölns Dütemeyer, D.	Lit.	1999
[11]	Stadtklima in Hamburg Heinke Schlünzen, K., Riecke W., Bechtel B. et al. Enthalten in: Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Springer Spektrum, S. 37-53	Lit.	2018

Titel / Beschreibung / Bemerkung			Kat.	Datum
[12]	VDI 3787, Blatt 2. Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung.	Verein Deutscher Ingenieure	RIL	2008
[13]	VDI 3787 Blatt 5 Lokale Kaltluft	Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL	RIL	2003
[14]	VDI 3787, Blatt 8. Stadtentwicklung im Klimawandel.	Verein Deutscher Ingenieure	RIL	2020
[15]	Klimaatlas NRW	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: https://www.klimaatlas.nrw.de/	Lit	Letzter Zugriff: Januar 2023
[16]	Klimawandelgerechte Metropole Köln. Abschlussbericht. LANUV-Fachbericht 50.	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz.	Lit.	2013
[17]	Klimagutachten zur Entwicklung von Rondorf-Nordwest in Köln Rondorf	Bericht VA 7474-2 der Peutz Consult GmbH	Lit.	Juli 2021
[18]	Urban-orographische Bodenwindsysteme in der städtischen Peripherie Kölns	Dütemeyer, D.	Lit.	1999
[19]	Ventilation und Schadstoffbelastung in der Kölner Bucht. Geographische Rundschau 49 (10)	Klaus, D., Fett, M., Poth, A. et al.	Lit.	1997
[20]	Beziehungen zwischen synoptischer und lokaler Windzirkulation und der Schadstoffbelastung in der südlichen Niederrheinischen Tieflandsbucht. Ber. z. dt. Landeskunde Bd 71, H.2, S. 255 - 284	Klaus, D., Fett, M., Poth, A. et al.	Lit.	1997
[21]	Lokale und regionale Windsysteme in der Kölner Bucht sowie der kanalisierende Effekt des Rheintals	Hartwig, C. Wiczorrek, Y., Birkenstock, S. et. al. In Immissionsschutz 1/2022	Lit.	2022
[22]	Untersuchung über kleinräumige Änderungen des Kaltluftflusses und der Frostgefährdung durch Straßenbauten.	King. .E. in Berichte des Deutschen Wetterdienstes 130, Bd. 17	Lit.	1973
[23]	GALK-Straßenbaumliste:	GALK e.V., Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz http://strassenbaumliste.galk.de/	P	Stand September 2021

Titel / Beschreibung / Bemerkung		Kat.	Datum
[24]	Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung – Ein Beitrag zur Verbesserung des Stadtklimas	Ratgeber Regenwasser – Ratgeber für Kommunen und Planungsbüros	Lit. 2022
[25]	Klimaangepasste Gebäude und Liegenschaften	Empfehlungen für Planende, Architektinnen und Architekten sowie Eigentümerinnen und Eigentümer	Lit. Mai 2022
[26]	Reduzierung der Überflutung durch Grüne Infrastruktur	Katharina Fuchs, Lothar Fuchs, Konferenzpaper für Aquaurbanica Innsbruck 2021	Lit. September 2021

Kategorien:

G	Gesetz	N	Norm
V	Verordnung	RIL	Richtlinie
VV	Verwaltungsvorschrift	Lit	Buch, Aufsatz, Berichtigung
RdErl.	Runderlass	P	Planunterlagen / Betriebsangaben

3 Örtliche Gegebenheiten

Die geplante Entflechtungsstraße dient der Verbindung der beiden Stadtteile Rondorf und Meschenich und wird auf Freiflächen mit derzeitiger landwirtschaftlicher Nutzung realisiert. Dabei ist sie aufgeteilt auf eine West-Ost-Achse mit einer Länge von knapp 2,5 Kilometern und eine Nord-Süd-Achse mit knapp 1,5 Kilometern Länge. Das Plangebiet umfasst eine Fläche von ca. 0,15 Quadratkilometern [2].

Im Umfeld des Plangebietes liegen die Autobahnen A 4 und A 555, verbunden über das Autobahnkreuz Köln-Süd im Nordosten, sowie die Kerkrader Straße und die geplante Erweiterung der B 51 im Süden und Westen. Das Plangebiet selbst liegt inmitten landwirtschaftlich genutzter Freiflächen. In der näheren Umgebung befindet sich zudem die Wohnbebauung von Rondorf und Meschenich. In ca. einem Kilometer Entfernung befinden sich Waldflächen, in direkt näherer Umgebung südlich mehrere nebeneinanderliegende Baggerseen sowie nördlich gelegene Waldflächen in ca. einem Kilometer Entfernung.

Die Umsetzung soll in Zusammenhang mit der Erschließung des im Norden der Entflechtungsstraße geplanten Projektes Rondorf Nord-West erfolgen. Im Osten wird die Entflechtungsstraße in den Kreisverkehr Kiesgrubenweg/Am Goldschmidtshof/Giesdorfer Allee integriert. Südlich erfolgt die Querverbindung zu der Straße „Vor dem Dorf“ und dem Kauskauerweg, sowie die Anbindung zweier wirtschaftlich genutzter Kleinwege westlich des nördlichsten Baggersees. Gen Westen erfolgt der Anschluss an die Erweiterung der B 51 von Süd nach Nord. Die Realisierung von Lärmschutzwänden ist nachzeitigem Planungsstand nicht notwendig.

Eine Übersicht zur Bestandssituation ist in Anlage 1 dargestellt. Anlage 2 zeigt einen Überblick über die zukünftige Situation nach Realisierung der Entflechtungsstraße.

4 Grundlagen

4.1 Stadtklima

Durch die Umgestaltung der natürlichen Oberflächen und ihrer Eigenschaften wird lokal das Klima verändert. In urbanen Gebieten mit ihren zahlreichen künstlichen Materialien und Formen resultiert daraus das Stadtklima [11].

4.1.1 Lufttemperatur

Durch die Überwärmung von Stadtgebieten, die im Allgemeinen als städtische Wärmeinsel bezeichnet wird, sind im Vergleich zur ländlichen Umgebung bodennah höhere Lufttemperaturen zu verzeichnen. Im Jahresmittel beträgt der Temperaturunterschied zwischen 1 und 2 K, in den Sommermonaten kann die Differenz mehr als 10 K betragen [7]. Das Maximum der städtischen Wärmeinsel bildet sich vor allem in den späten Abendstunden sowie in der Nacht aus. Tagsüber werden deutlich geringere Temperaturunterschiede zwischen Stadt und Umland beobachtet [11].

Dem Überwärmungseffekt, der üblicherweise vom Stadtrand hin zum Stadtzentrum zunimmt, liegen verschiedene Ursachen zugrunde. Zum einen trägt eine veränderte Energiebilanz dazu bei, dass im Stadtgebiet verschiedene raum-zeitliche Ausprägungen von Wärmeinseln auftreten. Künstliche Baumaterialien können aufgrund ihres geringen Reflexionsvermögens (Albedo) und ihrer geringen Wärmeleitfähigkeit tagsüber die einfallende kurzwellige Sonneneinstrahlung besonders gut absorbieren, was zur Bildung hoher Oberflächentemperaturen führen kann. Die tagsüber absorbierte Strahlung wird nachts in Form von langwelliger Rückstrahlung an die unteren Luftschichten abgegeben, sodass daraus hohe nächtliche Temperaturen resultieren. Zum anderen trägt die anthropogene Wärmezeugung im privaten und gewerblichen Bereich zu einer Erhöhung der Lufttemperatur bei.

Die raum-zeitliche Ausprägung der städtischen Überwärmung hängt dabei von verschiedenen Faktoren ab. Dazu zählen neben geographischen Gegebenheiten wie Lage, Topographie und Relief auch meteorologischen Rahmenbedingungen wie Witterung und Wetterlagen. Darüber hinaus ist die Lufttemperatur in Städten stark an die Bebauungsdichte, die Flächennutzungsanteile (Versiegelung, Grün- und Wasserflächen), die thermischen Eigenschaften der Oberflächen und den Grad der anthropogenen Wärmefreisetzung gebunden [6].

Für die menschliche Gesundheit stellen die erhöhten Lufttemperaturen im Stadtgebiet ein erhöhtes Risiko dar. So erhöht sich die Gefahr für Hitzestress und vor allem ältere Menschen, vorerkrankte Personen oder Kleinkinder können sich häufig nur unzureichend an die erhöhte Wärmebelastung anpassen.

4.1.2 Windfeld

Städte stellen durch einen Komplex aus Grünflächen, Straßenzügen, Parkplätzen und verschiedensten Bauweisen eine äußerst strukturierte Oberfläche dar. Dementsprechend zeichnet sich ein Stadtkörper vor allem durch eine erhöhte aerodynamische Rauigkeit gegenüber dem nicht bebauten, unbewaldeten Umland aus [7].

Wesentliche Effekte einer erhöhten Oberflächenrauigkeit sind die Beeinflussung der Strömungsrichtung, die Verminderung der bodennahen Windgeschwindigkeit durch Reibung an der Oberfläche, häufigere Windstillen sowie Auswirkungen auf das vertikale Windgeschwindigkeitsprofil. Dabei hängt der Reibungseinfluss maßgeblich von der Oberflächenbeschaffenheit ab. Durch Wechselwirkungen zwischen der Bebauung und der Windströmung prägen sich in Abhängigkeit der Anordnung der Gebäude charakteristische Windfelder aus. Mit einer zunehmend dichteren Bebauung wird die Strömung oberhalb sowie im Bereich innerhalb der Bebauung zunehmend gestört. Jedoch sinkt in der Regel mit zunehmender Höhe der Widerstand, sodass in Abhängigkeit von der atmosphärischen Schichtung und dem Grad der Bodenrauigkeit mit zunehmender Höhe höhere Windgeschwindigkeiten auftreten [6]. Auch Kanalisierungseffekte in Straßenschluchten können innerhalb eines Stadtgebietes zu höheren Windgeschwindigkeiten führen. Weiterhin können sich beim Durchströmen der Stadtstrukturen mechanisch und thermisch bedingte Wirbel ausbilden [8].

4.1.3 Bioklimatischer Komfort

Das physiologische Wärmeempfinden des Menschen wird nicht nur von der Lufttemperatur, sondern auch von den Einstrahlungsbedingungen (jahres- und tageszeitliche Varianz, Schattenwurf, langwellige Abstrahlung von Objekten in der Umgebung), der Windgeschwindigkeit sowie der Luftfeuchtigkeit beeinflusst [5]. Dabei ist die Lufttemperatur nicht immer der maßgebliche Faktor, sondern je nach Situation und Tageszeit können auch die Strahlungs- und Windverhältnisse dominant sein. Charakteristisch für das Stadtklima sind Wärmebelastungen bis zum Hitzestress, die insbesondere aus der zusätzlichen Abstrahlung der erwärmten Gebäude und der versiegelten Flächen sowie der infolge der erhöhten Rauigkeit gegenüber dem Umland reduzierten Windgeschwindigkeit resultieren.

In der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2 [12] werden verschiedene Methoden zur Quantifizierung des thermischen Komforts aufgeführt. Typischerweise wird zur Beurteilung des thermischen Komforts die physiologisch äquivalente Temperatur (PET) herangezogen. Die PET beschreibt das thermische Empfinden bei wechselnden Umgebungsbedingungen. Eine thermische Belastung kann sowohl durch Kälte (niedriger PET-Wert) als auch durch Hitze (hoher PET-Wert) verursacht werden. Neben der Temperatur berücksichtigt der PET-Wert die für die Beschreibung des physiologischen Wärmeempfindens notwendigen Parameter Windgeschwindigkeit, Luftfeuchtigkeit und die mittlere Strahlungstemperatur der Umgebung.

4.2 Auswirkungen des Klimawandels

Städte werden bereits heute mit den Auswirkungen des Klimawandels konfrontiert. Dazu gehören steigende Temperaturen, Hitzestress sowie eine Zunahme von Extremereignissen wie beispielsweise Starkregen. Mit Blick auf die Zukunft und unter dem Aspekt der zunehmenden Urbanisierung ist besonders in städtischen Gebieten mit einer Zunahme dieser Betroffenheit zu rechnen, daher stehen diese vor der Herausforderung, Synergien zwischen Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen zu identifizieren und umzusetzen. Das Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Klima und Städtebau erlangt daher eine wachsende Bedeutung.

Um Aussagen zu möglichen zukünftigen Klimaentwicklungen zu treffen, können komplexe Klimarechenmodelle herangezogen werden, die die physikalischen Prozesse im Klimasystem abbilden. Unter der Annahme verschiedener Klimaszenarien, die die zukünftige Entwicklung wie beispielsweise das Bevölkerungswachstum, den technischen Fortschritt oder den Energiemix berücksichtigen, können aus den Ergebnissen Klimaprojektionen aufgestellt werden.

Der Klimaatlas NRW [15] liefert für drei verschiedenen RCP-Klimaszenarien Informationen zur Entwicklung zukünftiger Klimavariablen und -kenntnis aus regionalen Klimamodellen. Die RCP-Szenarien kamen im fünften Sachstandsbericht des Weltklimarates zum Einsatz und stehen für repräsentative Konzentrationspfade (englisch: Representative Concentration Pathways). Diese berücksichtigen bestimmte Szenarien von anthropogenen Treibhausgasemissionen, die den Energie- und Strahlungshaushalt der Erde beeinflussen und damit auch das Klima.

- RCP8.5: „weiter-wie-bisher“-Szenario
- RCP4.5: mittleres Szenario
- RCP2.6: „Klimaschutz-Szenario“ zur Einhaltung des 2-Grad-Ziels

Für die Sommermonate Juni, Juli und August veranschaulicht die Abbildung 4.1 die zukünftigen Entwicklungen der mittleren Lufttemperaturen sowie die Anzahl der heißen Tage und Tropennächte im Untersuchungsgebiet auf Basis des Klimaatlas NRW für den Referenzzeitraum 1971–2000 sowie die Projektionen für die „nahe Zukunft“ 2031–2060 und für die „ferne Zukunft“ 2071–2100. Diese Prognosewerte beruhen auf Ergebnissen verschiedener Modellrechnungen, denen unterschiedliche Eingangsdaten, Randannahmen und Modellierungstechniken zugrunde liegen. Die Ergebnisse der verschiedenen Modellrechnungen sind aber grundsätzlich als gleich wahrscheinlich anzusehen. Für die Auswertung wird daher das 50.

Perzentil der Klimaprojektionen herangezogen. Das 50. Perzentil teilt hierbei die Berechnungsergebnisse, sodass 50 % der Modelle geringere Ergebnisse und 50 % der Modelle größere Ergebnisse zeigen.

Bei Zugrundelegung des Szenarios RCP2.6 ist demnach davon auszugehen, dass:

- die mittlere Lufttemperatur im Sommer bis Ende des Jahrhunderts um 1,1 °C steigt,
- sich die Anzahl der Heißen Tage sowie die Anzahl der Tropennächte bis Ende des Jahrhunderts verdoppeln.

Für das mittlere Szenario RCP4.5 wird prognostiziert, dass:

- die mittlere Lufttemperatur im Sommer von 18,0 °C auf 19,9 °C in der „fernen“ Zukunft ansteigt,
- die Anzahl der Heißen Tage bis zum Jahr 2100 von 7 auf 17 ansteigt und im Schnitt 5 Tropennächte pro Jahr auftreten.

Die Ergebnisse der Klimasimulationen für das worst-case-Szenario RCP8.5 zeigen, dass:

- sich die sommerlichen Temperaturen im Mittel um 1,6 °C (2031 – 2060) bzw. um 3,8 °C (2071 – 2100) erhöhen,
- bis zum Ende des Jahrhunderts die Zahl der jährlichen heißen Sommertage von 7 auf 31 Tage ansteigt und im Mittel 17 Tropennächte pro Jahr beobachtet werden können.

Abbildung 4.1 Prognose der Entwicklung der sommerlichen Wärmebelastung in Köln-Rondorf [15]



4.2.1 Planungshinweiskarte Hitze der Stadt Köln

Neben dem Klimaatlas NRW wurde zusätzlich die Planungshinweiskarte Hitze der Stadt Köln [3] zur Beschreibung der zukünftigen thermischen Belastungssituation im Umfeld des Planvorhabens herangezogen.

Die Planungshinweiskarte Hitze zeigt die zukünftige Wärmebelastung in Köln bezogen auf die Referenzperiode 2021 bis 2050. Grundlage der Karte sind Modellberechnungen des Deutschen Wetterdienstes mit dem Klimamodell MUKLIMO_3. Genauere Informationen zur Karte und den hier verwendeten Klasseneinteilungen können dem Abschlussbericht zur klimawandelgerechten Metropole Köln [16] entnommen werden. Anlage 3 zeigt die ermittelten Belastungsstufen im Umfeld des Plangebietes.

Demnach wird das Plangebiet als klimaaktive bzw. stark klimaaktive Fläche (Klasse 4 bzw. Klasse 5) ausgewiesen. Die beiden Klassen weisen eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Landnutzungsveränderungen auf und sollten möglichst entsprechend ihrer Funktion erhalten bleiben. Die nachfolgende Tabelle weist die mit den Klasseneinteilungen assoziierten klimatologischen Eigenschaften aus:

Tabelle 4.1: Einordnung der thermischen Situation und Planungshinweise [16]

Belastungsklasse	Klimatologische Eigenschaft
Klasse 4 (hellblau) – klimaaktive Freiflächen	Flächen der Klasse 4 stellen stadtklimatisch wichtige Freiflächen mit ausgeprägtem Tagesgang von Temperatur und Feuchte dar. Sie sind windoffen, weisen eine starke Frisch- und Kaltluftproduktion auf und sind von hoher Sensibilität gegenüber Nutzungsänderungen zum Beispiel Bebauung. Das Gebiet weist große Freiflächenanteile auf. Durch seinen windoffenen Charakter und die nächtliche Kaltluftproduktion wirkt es als klimatische Ausgleichsfläche für angrenzende Bereiche der Klasse 3.
Klasse 5 (dunkelblau) – sehr klimaaktive Freiflächen	Flächen der Klasse 5 stellen im Lichte des Klimawandels die stadtklimatisch am stärksten ausgleichenden Bereiche dar. Dicht bewaldete Bereiche sind charakterisiert durch einen nahezu ungestörten, stark ausgeprägten Tagesgang von Temperatur und Feuchte. Zusätzlich sind sie sehr windoffen, haben eine sehr ausgeprägte Frisch- und Kaltluftproduktion und sind sehr sensibel gegenüber Nutzungsänderung zum Beispiel Bebauung. Durch den im Wesentlichen unversiegelten Boden (Acker- und Grünlandflächen) kann im Bereich des Offenlandes eine hohe nächtliche Kaltluftproduktion stattfinden. Die Kaltluft fließt aufgrund der Topographie in der ersten Nachthälfte in die umliegenden Gebiete. Durch die windoffene Landschaft ist ein ständiger Frischluftstrom vorhanden. In den von Gehölz dominierten Bereichen findet tags-über durch die Verschattung eine geringe Aufheizung statt und die Verdunstung über die Blätter trägt zu einer Kühlwirkung bei.

4.2.2 Windrichtungsverteilung im Umfeld des Plangebietes

Die Wetterstation Köln Rodenkirchen des LANUV befindet sich etwa 3,5 km nordöstlich des Plangebietes. Aufgrund der Nähe zum Untersuchungsgebiet ist diese Station sehr gut geeignet, die übergeordneten Windverhältnisse im Plangebiet zu beschreiben. Hierzu zeigt Anlage 4 die Verteilung der Windrichtung und -geschwindigkeit für den Zeitraum von 2011 bis 2020.

Die Abbildung zeigt ein deutliches Windrichtungsmaximum aus südöstlichen Richtungen, welches auch bei anderen Messtationen in der Kölner Bucht zu beobachten ist. Dieses Windrichtungsmaximum ist auf die Ausrichtung des Rheintals und die hieraus resultierende Windkanalisierung sowie das thermische System des Rheintawindes [19][20][21] zurückzuführen. Ein sekundäres Maximum entfällt auf westliche Windrichtungen. .

Anhand der überproportional vertretenen Situationen mit geringen Windgeschwindigkeiten lässt sich zudem schließen, dass die südöstliche Anströmungsrichtung typisch für sommerliche Hochdruckwetterlagen mit eingeschränkter Austauschverhältnissen ist.

4.2.3 Kaltluftströmungen im Umfeld des Plangebietes

In wolkenarmen, windschwachen Nächten (Strahlungsnächten) bildet sich durch die negative Strahlungsbilanz über Freiflächen eine bodennahe Kaltluftschicht aus. Im topographisch gegliederten Gelände fließt diese Kaltluft entsprechend der Neigung des Geländes hangabwärts. Damit nennenswerte Kaltluftabflüsse entstehen, sollte die Hangneigung erfahrungsgemäß wenigstens 1 bis 2 Grad betragen.

Unter Umweltgesichtspunkten werden Kaltluftabflüssen zumeist positive Auswirkungen zugewiesen, da die lokal gebildeten thermischen Windsysteme nachts für Belüftung und damit Abkühlung in thermisch belasteten Siedlungsgebieten sorgen.

Zur Quantifizierung von Kaltluftabflüssen und der Bewertung von planungsbedingten Veränderungen wird in der Regel der Kaltluftvolumenstrom herangezogen. Gemäß [13] ist der Kaltluftvolumenstrom das Produkt aus der mittleren Strömungsgeschwindigkeit innerhalb der Kaltluftsäule sowie der Kaltluftschichtdicke und gibt an, wie viel Kaltluft in einer definierten Zeit (z. B. Sekunde) durch einen 1 m breiten Querschnitt strömt. Der Kaltluftvolumenstrom ist somit ein lokal gültiges Maß und damit für die Messung, die Bewertung und die Modellrechnung sehr gut geeignet.

Im Rahmen von klimatologischen Untersuchungen zum Vorhaben Köln Rondorf-West wurde durch die Peutz Consult GmbH eine großräumige Kaltluftsimulation für das gesamte Kölner Stadtgebiet durchgeführt [17]. Hierbei wurden auch die Kaltluftentstehungsgebiete im Rhein-

und Siegtal im Rechengebiet berücksichtigt, sodass das in der Kölner Bucht auftretende Phänomen des Rheintalwindes in den Simulationsrechnungen abgebildet werden konnte.

Zur Einordnung der Kaltluftverhältnisse im Umfeld des Plangebietes wurden die durchgeführten großräumigen Kaltluftsimulationsrechnungen für zwei Zeiträume (4 und 8 Stunden nach Sonnenuntergang) ausgewertet und dargestellt. Anlage 5 und Anlage 6 zeigen die Mächtigkeit der Kaltluftschicht sowie Richtung und Stärke des Kaltluftvolumenstroms zum Zeitpunkt 4 Stunden nach Sonnenuntergang. Anlage 7 und Anlage 8 zeigen die entsprechenden Kenngrößen zum Ende der Nacht (8 Stunden nach Sonnenuntergang).

Vier Stunden nach Sonnenuntergang beträgt die Kaltfluthöhe im Umfeld des Plangebietes zwischen 40 und 50 m. Lediglich entlang der Immendorfer Hauptstraße werden aufgrund der topographischen Senke noch etwas höhere Kaltluftschichtdicken ausgewiesen. Anlage 6 verdeutlicht, dass zum Auswertzeitpunkt eine südwestliche Kaltluftströmung im Plangebiet und dessen Umgebung vorherrscht. Bei dieser noch relativ schwachen Strömung handelt es sich um lokale Hangwinde, die aus Richtung des Höhenzuges zwischen Hürth und Brühl nordostwärts abfließen. Im Bereich des Planvorhabens nimmt der Kaltluftvolumenstrom typischerweise Werte zwischen 10 und 20 m³/m·s ein.

Im Vergleich zur Situation 4 Stunden nach Sonnenuntergang wird deutlich, dass zum Ende der Nacht die Kaltluftschichtdicke deutlich angewachsen ist (vgl. Anlage 7). Dies ist auf den im Laufe der zweiten Nachthälfte eintreffenden Rheintalwind zurückzuführen. So wird zum Ende der Nacht innerhalb des Plangebietes der Entflechtungsstraße eine Kaltluftmächtigkeit von mehr als 100 m ausgewiesen. Diese berechneten Werte passen sehr gut zu den in [18] dokumentierten Messergebnissen, mit denen nachgewiesen wurde, dass der regionale Rheintalwind in der südlichen Peripherie von Köln typischerweise eine Kaltluftmächtigkeit von ca. 110 m aufweist.

Infolge des durchgreifenden Rheintalwindes steigt zudem die Kaltluftvolumenstromdichte gegenüber der Situation zum Zeitpunkt 4 Stunden nach Sonnenuntergang deutlich an. So werden innerhalb des Plangebietes Kaltluftvolumenstromdichten zwischen 50 und 75 m³/m·s, in Teilen auch darüber berechnet. Zudem ändert sich die Strömungsrichtung. Während 4 Stunden nach Sonnenuntergang südwestliche Strömungsrichtungen vorherrschen, dreht der Wind im weiteren Verlauf der Nacht auf südliche bis südöstliche Anströmungsrichtungen.

Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass das Plangebiet in windschwachen Strahlungsnächten Teil einer wichtigen Belüftungsleitbahn ist, die Kaltluft in Richtung des überwärmten Kölner Stadtzentrums leitet.

5 Auswirkungen des Planvorhabens

Die Auswertung der vorhandenen klimatologischen Grundlagendaten hat gezeigt, dass das Plangebiet eine wichtige Ausgleichsfunktion für die sich anschließenden, dichter bebauten Kölner Stadtteile Rodenkirchen, Rondorf, Godorf, und Meschenich ausübt, da sich zum einen im Plangebiet in windschwachen Nächten Kaltluft bildet und zum anderen das Plangebiet auf Grund seiner geringen Rauigkeit als Leitbahn für die aus Südwesten (erste Nachthälfte), bzw. aus Richtung Süden (zweite Nachthälfte) einströmende Kaltluft fungiert.

Durch die Bebauung des Plangebietes werden sich die mikroklimatischen Eigenschaften und Funktionen des Plangebietes geringfügig verändern.

5.1.1 Kaltluftproduktion

Durch die Realisierung des Planvorhabens wird sich infolge der Erhöhung des Versiegelungsgrades die Kaltluftproduktion der Plangebietsfläche verringern.

Zur Abschätzung dieser Minderung wurde überschlägig die Kaltluftproduktion des Plangebietes im Bestand und nach Realisierung des Planvorhabens abgeschätzt. Als Basis-Kaltluftproduktionsrate für die Freifläche wurde gemäß [9] ein Wert von 12 m³/Stunde/m² angesetzt.

Konservativ wird im Folgenden angenommen, dass das Plangebiet zurzeit komplett unversiegelt ist und infolge der Realisierung des Planvorhabens zukünftig komplett versiegelt sein wird. Bei einer Plangebietsfläche von ca. 0,15 km² ergibt sich somit eine Verringerung der stündlichen Kaltluftproduktion von 1,8 Mio. m³. Da bereits aktuell Teile des Plangebietes versiegelt sind und auch nach Realisierung des Planvorhabens innerhalb des Plangebietes unversiegelte Bereiche verbleiben, ist davon auszugehen, dass der Rückgang der Kaltluftproduktion eher niedriger ausfallen wird.

Der Verlust an kaltluftproduzierenden Flächen wird nicht zu einer signifikanten Reduktion des Kaltluftgeschehens, bzw. gar zu einem Abriss der Strömung in Richtung der Kölner Innenstadt führen. Allerdings sollte im folgenden Planungsprozess darauf geachtet werden, den Versiegelungsgrad so weit wie möglich zu reduzieren, um Erwärmungstendenzen entgegenzuwirken.

5.1.2 Kaltluftdurchfluss

Die Auswertungen der stadtweiten Kaltluftsimulation (vgl. Kapitel 4.2.3) haben gezeigt, dass das Plangebiet in Strahlungsnächten die Funktion einer Kaltluftleitbahn in Richtung der überwärmtten Bereiche von Köln Rondorf und Köln Rodenkirchen übernimmt. Aufgrund der schon

in der ersten Nachthälfte mit 40 – 50 m deutlich ausgeprägten Kaltluftmächtigkeit und der nur geringen Hinderniswirkung des Vorhabens kann sicher davon ausgegangen werden, dass die etwa 250 m lange Dammlage des Geh-/ Radweges „Am Moosberg“ bereits in den frühen Nachtstunden von der Kaltluft überströmt werden.

Im Verlauf einer typischen windschwachen Strahlungsnacht steigt die Intensität und die Mächtigkeit des Kaltluftstroms deutlich an, bis kurz vor Sonnenaufgang das Maximum erreicht wird. Die Auswirkungen des Planvorhabens auf die leeseitig gelegenen Siedlungsgebiete sind somit in den späten Nachtstunden noch deutlich niedriger einzuschätzen als in den frühen Nachtstunden kurz nach Sonnenuntergang.

5.2 Lufttemperaturen

Aus der Erfahrung einer Vielzahl von Peutz Consult durchgeführten Simulationsrechnungen mit dem mikroskaligen Stadtklimamodell ENVI_MET für ähnliche Planungsvorhaben kann grob abgeschätzt werden, wie sich die Lufttemperaturen an einem Sommertag mit starker Hitzebelastung infolge des Planvorhabens verändern werden.

Zur Zeit der stärksten Hitzebelastung in den Nachmittagsstunden ist im Nahbereich der Trasse mit einer geringfügigen Temperaturzunahme zu rechnen. Dies ist insbesondere auf den gegenüber der Bestandssituation deutlich erhöhten Absorptionsgrad der Straßenoberfläche zurückzuführen, welcher dazu führt, dass der Asphalt einen Großteil der Energie der auftretenden Sonneneinstrahlung aufnimmt und nur wenig davon wieder reflektiert. Beim Überstreichen der erwärmten Oberflächen nimmt die Luft einen Teil dieser Energie auf und erwärmt sich dabei. Aufgrund der linienhaften Struktur der Entflechtungsstraße strömt die Luft aber in der Regel nur kurzzeitig über die erwärmte Straße, so dass hieraus nur eine geringfügige Temperaturerhöhung im direkten Umfeld des Planvorhabens resultiert.

Auch nachts und in den Abendstunden ist damit zu rechnen, dass es im Nahbereich der Trasse zu leichten Temperaturerhöhungen kommt, da die im Asphalt tagsüber gespeicherte Wärme nachts wieder an die Umgebungsluft abgegeben wird.

5.3 Windfeld

Derzeit ist das Plangebiet unbebaut und weist lediglich im Bereich von Gehölzflächen Strömungshindernisse auf, die zu einer geringfügigen Minderung der Windgeschwindigkeit führen. Ansonsten ist das Plangebiet im Bestand gut durchlüftet.

Durch die Realisierung der Planung werden sich die bodennahen Windverhältnisse innerhalb des Plangebietes gegenüber der Bestandssituation auf Grund der geringen Rauigkeit des Straßenbauvorhabens kaum verändern. Geringfügige Geschwindigkeitsabnahmen können sich bei einer Queranströmung im Luv und Lee der 250 m langen Dammlage des

Geh-/Radweges „Am Moosberg“ ergeben. Es ist allerdings davon auszugehen, dass sich bereits kurz hinter diesem Hindernis das ursprüngliche Windprofil wieder einstellt.

5.4 Bioklima

Aufgrund der guten Durchlüftung in der Bestandssituation herrschen im Bestand insgesamt günstige bioklimatische Bedingungen vor, wobei die umliegenden Gehölzflächen aufgrund der Verschattung durch die Baumkronen insgesamt bessere Verhältnisse aufweisen als die Ackerflächen.

Die bioklimatische Belastungssituation im Planfall wird vor allem von den Wind- und Einstrahlungsverhältnissen geprägt werden. Hohe Belastungen sind insbesondere in den am Nachmittag von der Sonne beschienenen versiegelten Flächen zu erwarten. Hier bietet sich die Anpflanzung von schattenspendenden Bäumen, insbesondere zur Schaffung günstiger bioklimatischer Verhältnisse für Fußgänger und Radfahrer an.

Signifikante negative Auswirkungen, die über das Plangebiet hinausgehen, werden sich nicht ergeben, da davon auszugehen ist, dass sich außerhalb der Plangebietsgrenzen sowohl an der Durchlüftungs- als auch an der Einstrahlungssituation keine relevanten Veränderungen ergeben.

6 Planungsempfehlungen

Signifikante Veränderung des Lokalklimas sind durch die Realisierung des Planvorhabens nicht zu erwarten. Geringfügige Veränderungen können sich durch die Versiegelung und daraus resultierende Verringerung der Kaltluftproduktion innerhalb des Plangebietes ergeben und sollten, wenn möglich, kompensiert werden. Infolge des fortschreitenden Klimawandels sollte bei Planvorhaben zudem das Bioklima innerhalb des Plangebietes beachtet werden, um den zu erwartenden hohen Belastungen für Fußgänger und Radfahrer entgegenzuwirken. Hierzu bieten sich die nachfolgend aufgeführten Maßnahmen an:

Minimierung von Versiegelung

Bei der Realisierung des Planvorhabens sollte ein möglichst geringer Versiegelungsgrad angestrebt werden, um die Kaltluftproduktion weitestgehend zu erhalten. Für Betriebswege und Ähnliches sollten offenporige, begrünbare Rasenwaben oder wasserdurchlässige Beläge, wie zum Beispiel Fugenpflaster, bevorzugt vor Schotter oder Asphaltierung/konventioneller Bepflasterung verwendet werden [14]. Hierdurch wird die Hitzebelastung an den entsprechenden Stellen gesenkt, das Retentionsvolumen erhöht und das grüne Erscheinungsbild und somit die Freiraumqualität verbessert [26].

Verwendung geeigneter Baumaterialien zur klimaoptimierten Gestaltung von Wegen und Oberflächen

Abhängig von der Oberfläche des Materials wird ein Teil der auftreffenden Sonnenenergie sofort wieder reflektiert und steht damit nicht zur Erwärmung zur Verfügung. Helle Baumaterialien erhöhen diesen Effekt, reflektieren also mehr kurzweilige Strahlung. Dadurch heizen sich Straßen mit hellem Asphaltbelag weniger stark auf und geben im Lauf der Nacht entsprechend weniger Wärme an die Umgebungsluft ab.

Erhöhung des Baumanteils

Da Bäume sowohl durch Verschattung als auch über Abkühlungsprozesse durch Evapotranspiration zur Verminderung der bodennahen Lufttemperatur beitragen, wird empfohlen, straßenbegleitende Bäume zu pflanzen. Zur Verschattung der Asphaltfläche in den heißen Nachmittagsstunden bieten sich hierfür insbesondere die Südseite der Ost-West-Achse sowie die Westseite der Nord-Süd-Achse an. Um das Windfeld nicht zu stark zu beeinträchtigen, sollten die Bäume eine ausgeprägte Krone aufweisen, um im Stammbereich möglichst wenig Strömungswiderstand durch Äste und Blätter zu liefern. In Anbetracht des fortschreitenden Klimawandels bieten sich hierfür insbesondere stadtklimafeste, also hitze- und trockenheitsresistente Arten an, die zudem eine geringe oder mittlere Lichtdurchlässigkeit auf-

weisen. Hinweise zu geeigneten Arten liefern z. B. die GALK-Straßenbaumliste [23], sowie die VDI-Richtlinie 3787, Blatt 8 [14].

7 Zusammenfassung

Der Auftraggeber plant in Abstimmung mit der Stadt Köln den Neubau einer Entflechtungsstraße, welche die Stadtteile Meschenich, Rondorf und Immendorf durchlaufen soll. Die Entflechtungsstraße soll den Ortskern von Rondorf verkehrlich entlasten und die Verkehrsanbindung des geplanten Wohnquartiers „Rondorf Nord-West“ sichern.

Im Rahmen dieser Stellungnahme wurden die vorliegenden Grundlagendaten zum Thema Stadtklima ausgewertet und dargestellt.

Gemäß der Planungshinweiskarte Hitze der Stadt Köln handelt es sich bei der Projektfläche um eine derzeit landwirtschaftlich genutzte klimaaktive Freifläche. Klimaaktive Freiflächen sind windoffen, weisen eine starke Frisch- und Kaltluftproduktion auf und sind von hoher Sensibilität gegenüber Nutzungsänderungen, wie zum Beispiel Bebauung. Das Gebiet weist große Freiflächenanteile auf, die grundsätzlich im Sinne des Klimaschutzes von Bebauung freigehalten werden sollten.

Von Peutz Consult durchgeführte stadtweite Berechnungen der regionalen Kaltluftabflüsse zeigen zudem, dass das Plangebiet aufgrund seiner geringen Rauigkeit eine Leitbahn für die in den frühen Nachtstunden aus Richtung Südwesten und in der zweiten Nachthälfte aus Richtung Süden einströmende Kaltluft darstellt.

Zur Quantifizierung der Auswirkung des Planvorhabens auf die Kaltluftproduktion innerhalb des Plangebiets wurde die Kaltluftproduktion vor und nach Realisierung des Planvorhabens anhand einer Flächenbilanzierung abgeschätzt. Vereinfacht wurde angenommen, dass das Plangebiet zurzeit komplett unversiegelt und in Zukunft versiegelt sein wird. Aus diesen Annahmen ergibt sich ein stündlicher Rückgang der Kaltluftproduktion von 1,8 Mio. m³. Der Verlust an kaltluftproduzierenden Flächen wird nicht zu einer signifikanten Reduktion des Kaltluftgeschehens, bzw. gar zu einem Abriss der Strömung in Richtung der Kölner Innenstadt führen. Allerdings sollte im folgenden Planungsprozess darauf geachtet werden, den Versiegelungsgrad so weit wie möglich zu reduzieren, um Erwärmungstendenzen entgegenzuwirken.

Aufgrund der schon der ersten Nachthälfte mit 40 – 50 m deutlich ausgeprägten Kaltluftmächtigkeit und der nur geringen Hinderniswirkung des Vorhabens kann zudem sicher davon ausgegangen werden, dass der etwa 250 m lange Damm des Geh-/ Radweges „Am Moosberg“ bereits in den frühen Nachtstunden von der Kaltluft überströmt werden. Aufgrund der deutlich höheren Kaltluftvolumenstromdichte sind die Auswirkungen in der zweiten Nachthälfte noch deutlich niedriger einzuschätzen.

Zur Zeit der stärksten Hitzebelastung in den Nachmittagsstunden ist im Nahbereich der Trasse mit einer geringfügigen Temperaturzunahme aufgrund des hohen Absorptionsgrades der Straßenoberfläche zu rechnen. Auch nachts und in den Abendstunden kann von leichten Temperaturerhöhungen im Nahbereich der Trasse ausgegangen werden, da die im Asphalt tagsüber gespeicherte Wärme nachts wieder an die Umgebungsluft abgegeben wird.

In Bezug auf die Durchlüftung wird sich die aktuell vorliegende günstige Situation auf Grund der geringen Rauigkeit des Straßenbauvorhabens kaum verändern. Geringfügige Geschwindigkeitsabnahmen können sich bei einer Queranströmung im Luv und Lee der 250 m langen Dammlage des Geh-/Radweges „Am Moosberg“ ergeben. Es ist allerdings davon auszugehen, dass sich bereits kurz hinter diesen Hindernissen das ursprüngliche Windprofil wieder einstellt.

Aufbauend auf den Grundlagendaten wurden anschließend die zu erwartenden klimatischen Effekte des Vorhabens beschrieben und Maßnahmen betrachtet, mit denen negative klimatische Folgen verhindert oder verringert werden können.

Die bioklimatische Belastungssituation im Planfall wird vor allem von den Wind- und Einstrahlungsverhältnissen geprägt werden. Hohe Belastungen sind insbesondere in den am Nachmittag von der Sonne beschienenen versiegelten Flächen zu erwarten. Signifikante negative Auswirkungen, die über das Plangebiet hinausgehen, werden sich nicht ergeben, da davon auszugehen ist, dass sich außerhalb der Plangebietsgrenzen sowohl an der Durchlüftungs- als auch an der Einstrahlungssituation keine relevanten Veränderungen ergeben.

Zur klimatischen Optimierung des Vorhabens bieten sich folgende Maßnahmen an:

- Minimierung von Versiegelung
- Verwendung eines möglichst hellen Asphalts zur Erhöhung der Reflektion
- Pflanzung von straßenbegleitenden Bäumen zur Verschattung der Entflechtungsstraße und des angrenzenden Geh-/Radweges

Peutz Consult GmbH

i.V. Dipl.-Geogr. Björn Siebers
(fachliche Verantwortung / Projektbearbeitung)

i.A. B. Sc. Deborah Stolten
(Projektbearbeitung)

M. Sc. Helena Röhling
(Qualitätskontrolle)

VH 7474-2
06.03.2023

Seite 23 von 24

Anlagenverzeichnis

Anlage 1 Lageplan der Bestandssituation

Anlage 2 Lageplan der Plansituation

Anlage 3 Ausschnitt aus der Planungshinweiskarte Hitze der Stadt Köln

Anlage 4 Verteilung der Windrichtung und -geschwindigkeit an der LANUV-Station Köln
Rodenkirchen im Zeitraum 2011-2020

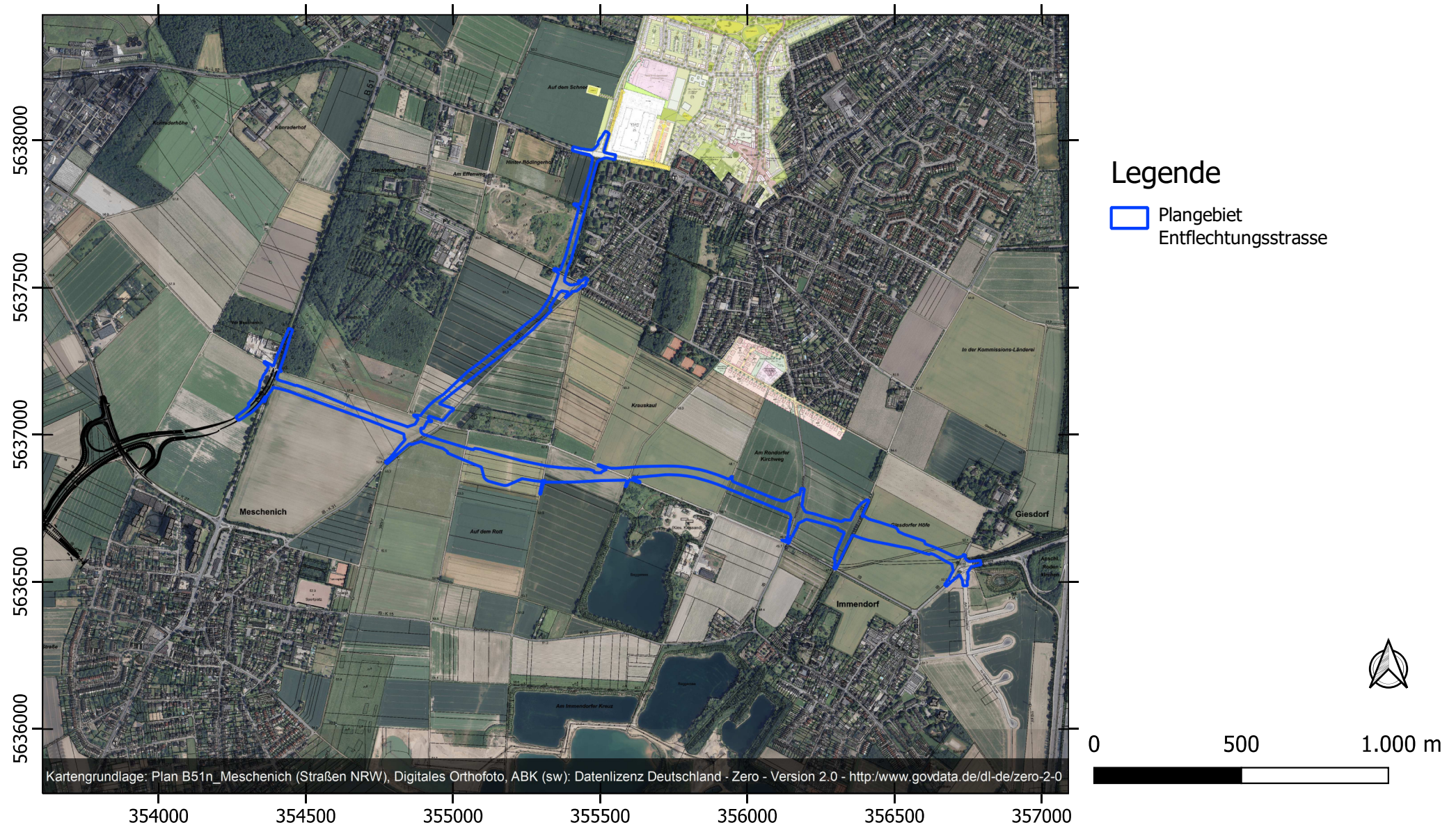
Anlage 5 Mächtigkeit der Kaltluftschicht – vier Stunden nach Sonnenuntergang

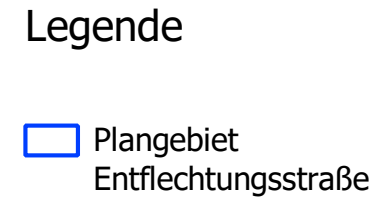
Anlage 6 Kaltluftvolumenstrom – vier Stunden nach Sonnenuntergang

Anlage 7 Mächtigkeit der Kaltluftschicht – acht Stunden nach Sonnenuntergang

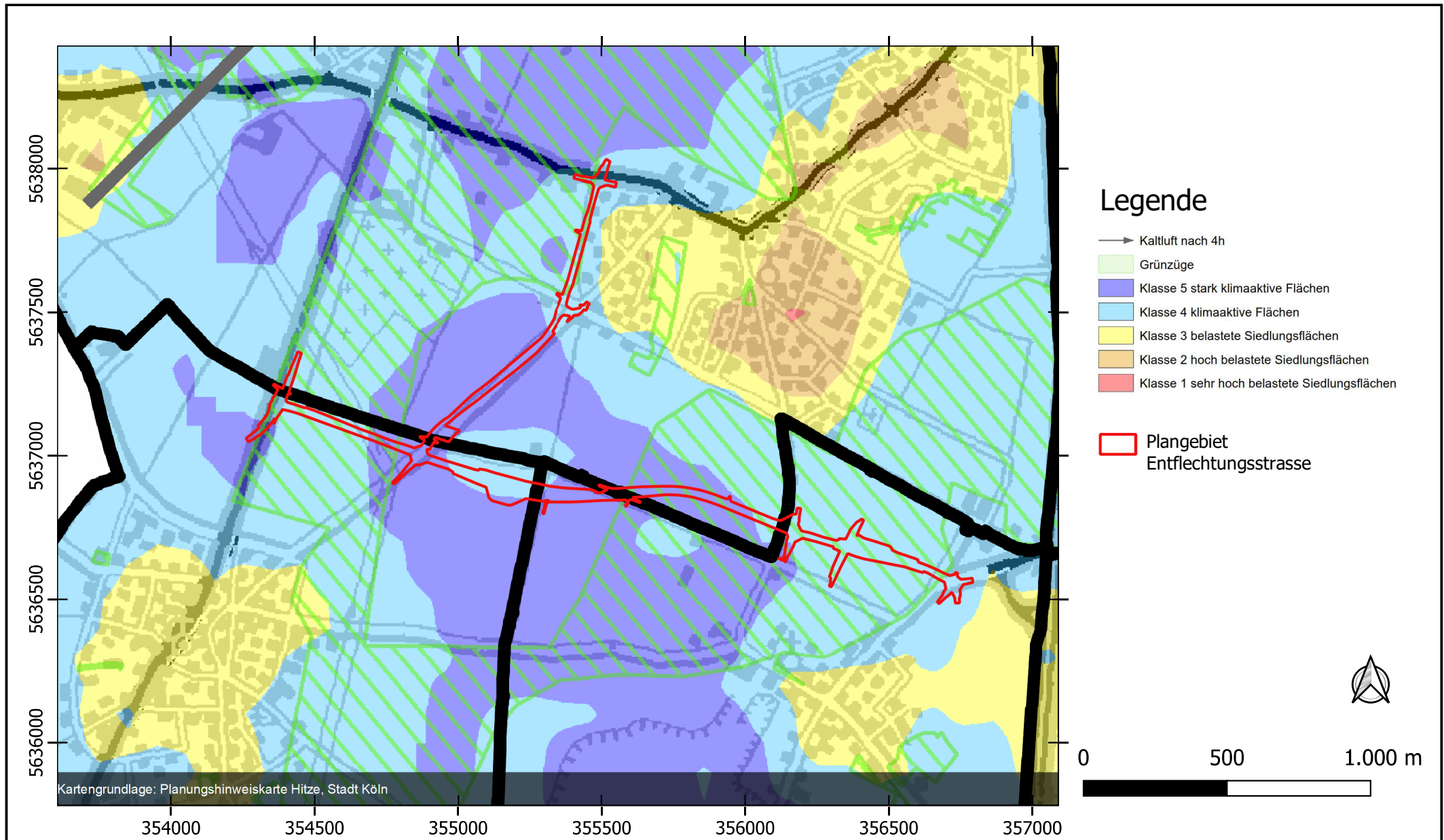
Anlage 8 Kaltluftvolumenstrom – acht Stunden nach Sonnenuntergang

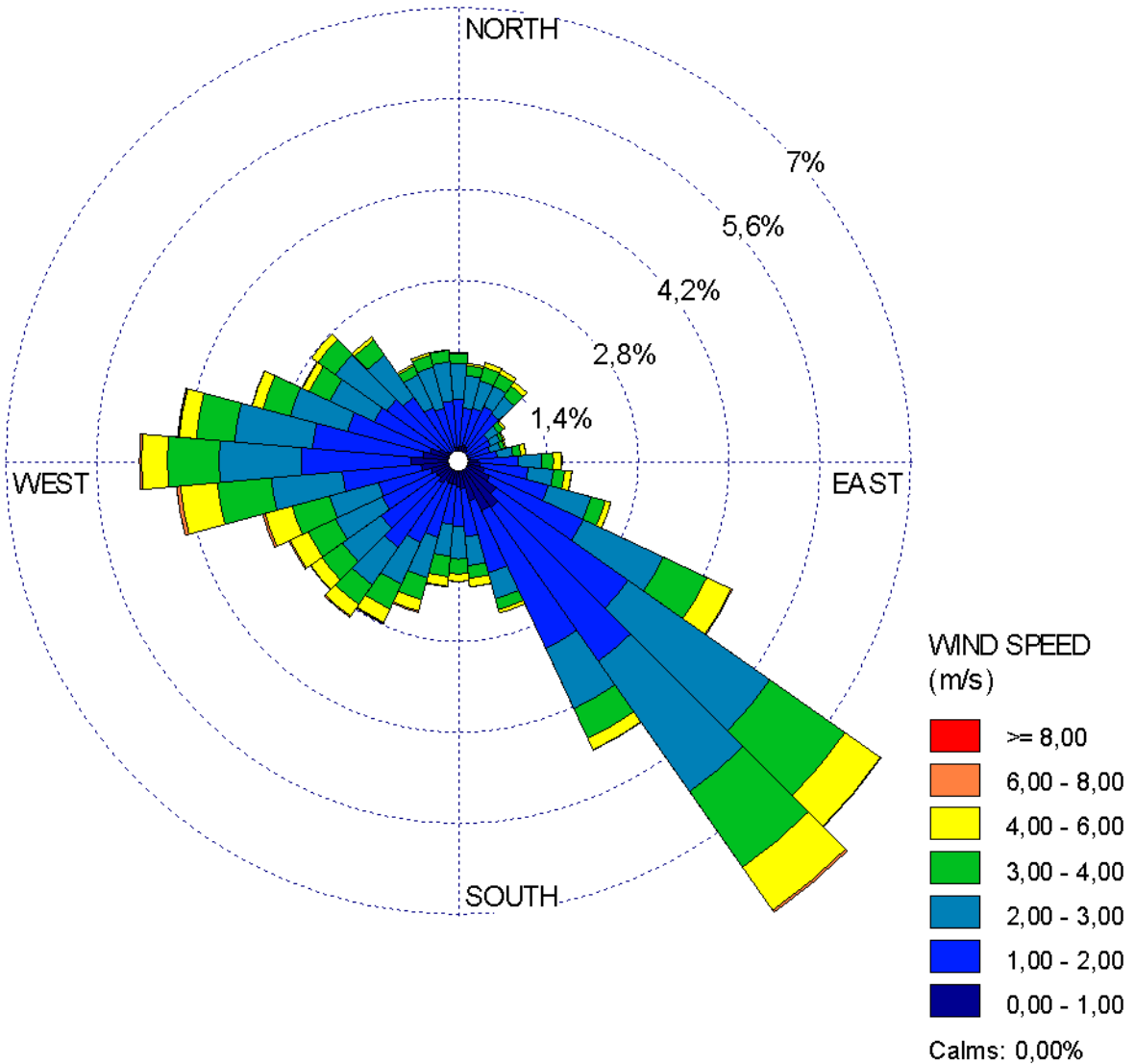
Anlage 1: Übersichtslageplan in der Bestandssituation



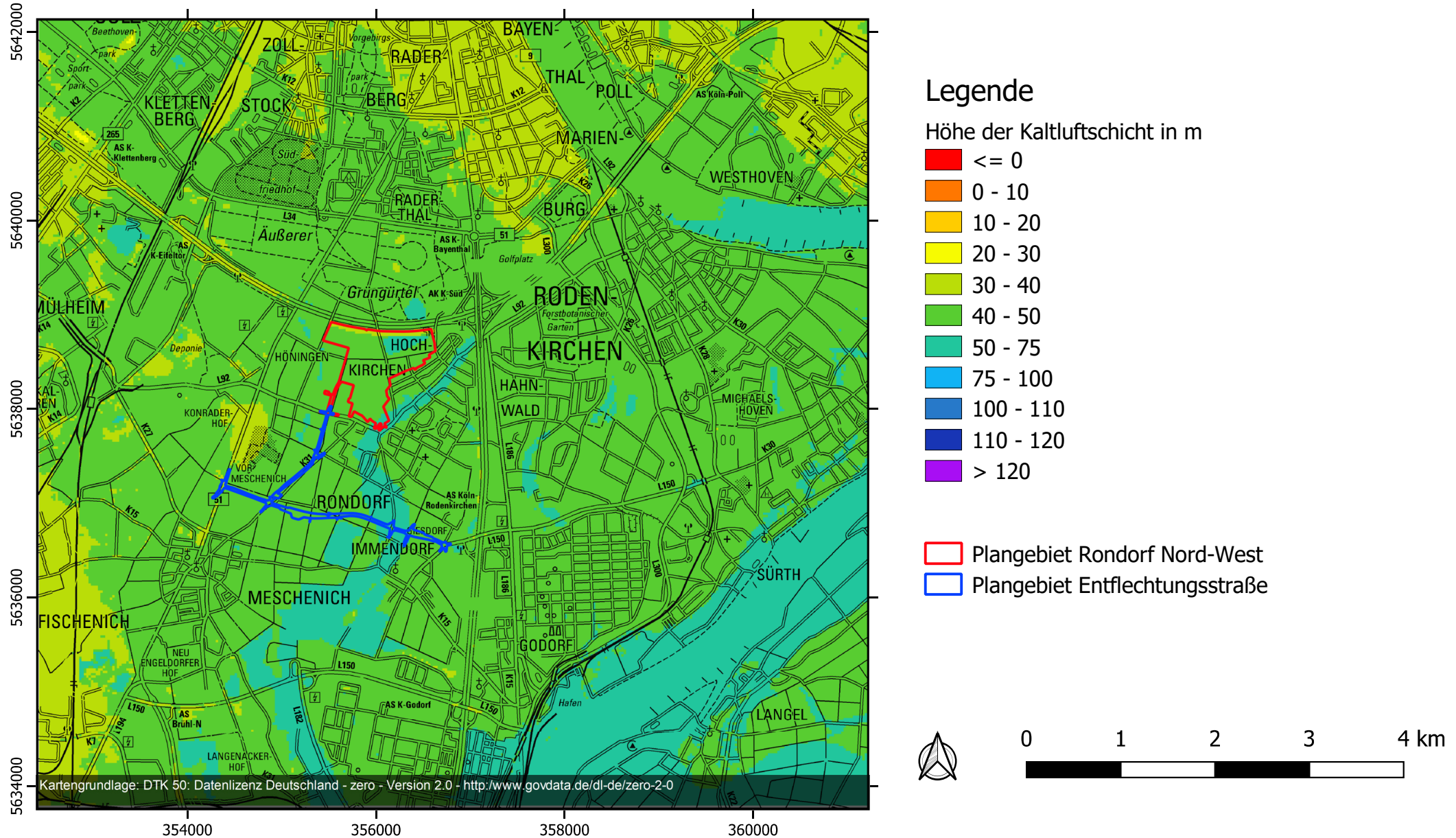


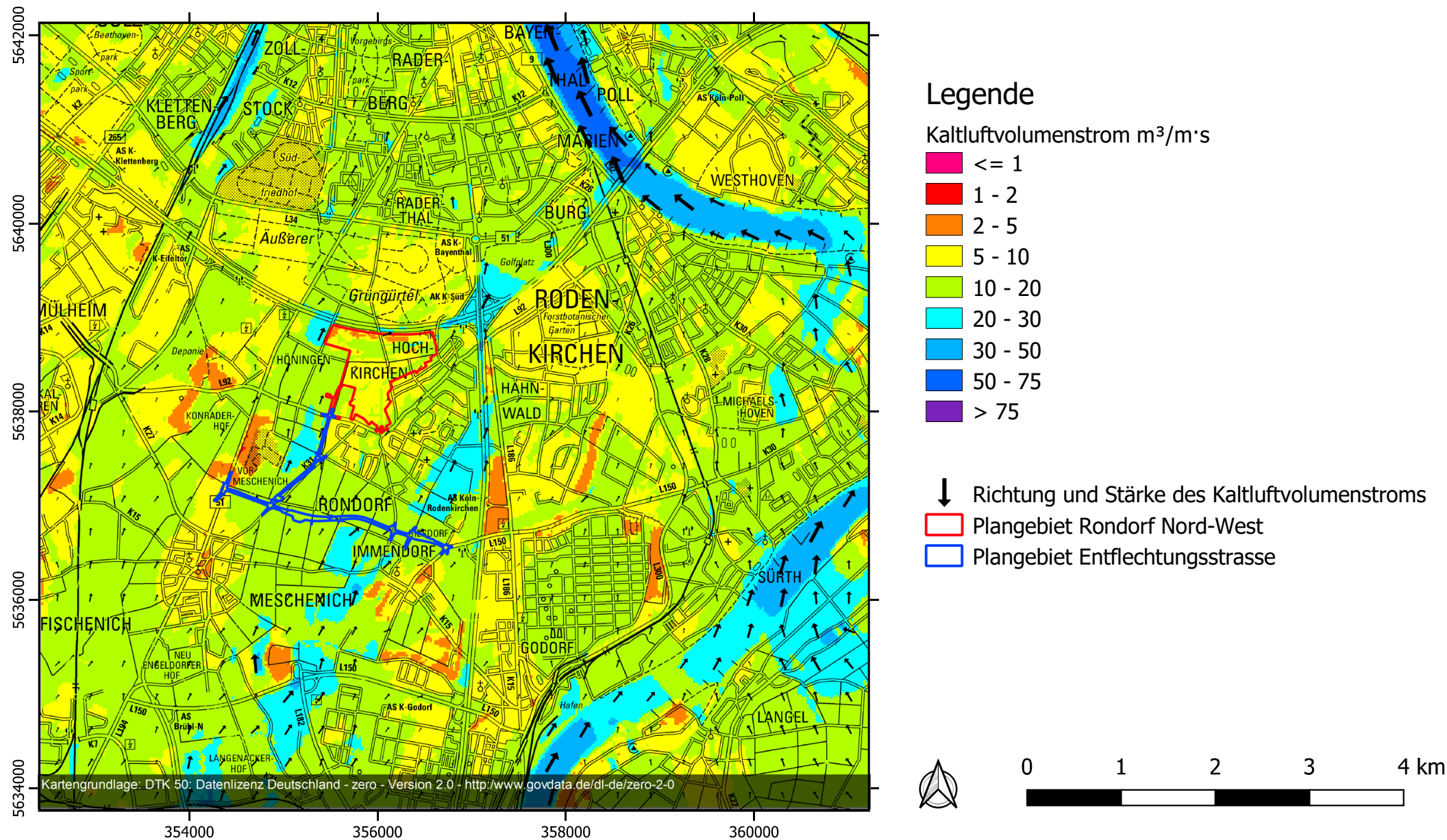
Anlage 3: Planungshinweiskarte Hitze im Umfeld des Plangebietes





Anlage 5: Höhe der Kaltluftschicht - 4 Stunden nach Sonnenuntergang





Anlage 7: Höhe der Kaltluftschicht - 8 Stunden nach Sonnenuntergang

